

토양의 정량적 및 정성적 특성을 이용한 연초 경작지의 비옥도 평가

홍순달 · 김기인 · 이윤환* · 정훈채* · 김용연*
충북대학교 농과대학, *한국인삼연초연구원
(2000년 9월 10일 접수)

Fertility Evaluation of Tobacco Field by Quantitative and Qualitative Characteristics of Soils

Soon-Dal Hong, Ki-In Kim, Yun-Hwan Lee*, Hun-Chae Jeong*, Yong-Yeon Kim*
College of Agriculture, Chungbuk National University
**Korea Ginseng and Tobacco Research Institute*
(Received September 10, 2000)

ABSTRACT : Evaluation method of soil fertility by combination of soil color characteristics and survey data from soil map as well as chemical properties was investigated on total 35 field and pot experiments. Total 35 tobacco fields including 11 fields located at Cheonweon county in Chungnam Province, 9 fields located at Goesan county in Chungbuk Province, and 15 fields located at Youngcheon county in Kyongbuk Province were selected in 1984 to cover the wide range of distribution in landscape and soil attributes. Yields of tobacco grown on the plots of both the pot and field experiment which were not applied with any fertilizer were considered as basic fertility of the soil (BFS). The BFS was estimated by 32 independent variables including 15 chemical properties, 3 color characteristics, and 14 soil survey data from soil map. Twenty-four independent variables containing 16 quantitative variables selected from 24 quantitative variables by collinearity diagnostics and 8 qualitative variables, were classified and analyzed by multiple linear regression (MLR) of REG and GLM models of SAS. Tobacco yield of field experiment showed high variations by eight times in difference between minimum and maximum yield indicating the diverse soil fertility among the experimental fields. Evaluation for the BFS by the MLR including quantitative variables was still more confidential than that by a single index and that showed more improvement of coefficient of determination (R^2) in pot experiment than in field experiment. Evaluation for the BFS by MLR in field experiment was still improved by adding qualitative variables as well as quantitative variables. The variability in the BFS of field experiment was explained 43.2% by quantitative variables and 67.95% by adding both the quantitative and qualitative variables compared with 21.7% by simple regression with $\text{NO}_3\text{-N}$ content in soil. The regression evaluation for the best evaluation of the BFS of field experiment by MLR included $\text{NO}_3\text{-N}$ content, L value, and a value of soil color as quantitative variables and available soil depth and topography as qualitative variables. Consequently, it is assumed that this approach by the MLR including both the quantitative and qualitative variables was available as an evaluation model of soil fertility for tobacco field.

Key words : tobacco field, fertility evaluation, soil survey data, soil color characteristic, multiple linear regression

*연락저자 : 361-763 충북 청주시 개신동 48, 충북대학교 농화학과

*Corresponding author : *Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University*
48 Gaeshin-dong, Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

작물의 생산성을 극대화하기 위한 비료의 과다 사용이 토양 및 수자원의 환경오염 문제와 관련되면서 환경에 부하를 주지 않고 작물 생산효율을 극대화시키기 위한 농업기술은 끊임없이 발전되고 있다. '80년대 초반에 제안된 저투입 지속농업(Low Input Sustainable Agriculture, LISA)은 지속 보존농업(Sustainable Agriculture)으로 줄여 불리며 지속 보전 가능한 농업 또는 환경친화형 농업 등 여러 가지 용어로 국내 농업기술에 소개되었다. 이러한 농업기술은 90년대 들어 다시 정밀농업(Precision Agriculture)이라는 새로운 체계로 바뀌면서 구체적인 적용방법으로 대단위 필지별 관리 농업(Site Specific Management for Agriculture)이라는 농업기술을 개발하고 있다. 이러한 농업기술의 핵심적인 내용은 환경에 부하를 주지 않고 작물 생산효율을 극대화시키기 위하여 경작지 필지별로 토양에 투입되는 물질 특히 비료물질을 특별관리 하자는 것이다. 즉 경작지 필지별로 비옥도를 정확히 평가하여 작물별 적정 시비량을 결정하는 것이 핵심적인 기술이다.

경작지의 비옥도를 결정하는 토양성질들은 공간변이성과 시간변이성을 나타내며 이러한 변이성들의 정량화는 토양 화학성을 포함한 토양형태, 지형특성, 미기상 특성 혹은 배수등급등 여러 가지 변이에 따라 매우 복잡해지는 것으로 알려져 있다(Cambardella *et al.*, 1994). 보다 정밀한 정보를 얻기 위하여 토양시료의 채취방법도 임의 채취 방법에서 grid 방식에 의한 체계적 방법에 이르기까지 다양하며(Wollenhaupt *et al.*, 1997) 평가 효율성은 지형위치에 따라 상반되는 경향을 보이고 있다(Franzen *et al.*, 1996, Cambardella *et al.*, 1996, Wibawa *et al.*, 1993). 그러나 인공위성 탐사기술과 컴퓨터 기능의 발전은 복잡한 정보들을 수집 처리하여 종합 평가하고 관리할 수 있는 단계로 접근하고 있다(Khakural *et al.*, 1996b, Girgin *et al.*, 1996, Bruulsema *et al.*, 1996).

Khakural 등(1996a)은 지형위치와 경사도 특성은 옥수수과 대두 수량 및 토양비옥도와 밀접하게 관련되었다고 하였으며, 이들(1996b)은 다른 연구에서 토양, 지형, 기후특성들을 이용하여 옥수수의 수량예측을 위한 다중회귀모델에 의한 생산성변수

를 개발하여 실제 수량변이와 비교한 결과 유사하다는 것을 확인하였다. Bruulsema 등(1996)은 질소시비량에 따른 옥수수의 수량변이성에 대하여 토양 질소의 유효도 변수들과 지형속성 등에 의한 다중회귀모델은 30%~61%를 설명하였다고 보고하였다. 유사한 접근방법으로 토양도 자료를 활용한 옥수수 재배토양(홍, 1998) 및 연초 재배토양(홍 등, 1999)에 대한 평가와 지리정보시스템의 자료들을 이용한 연초 재배토양(석 등, 1999)의 평가에서도 다중선형회귀 분석에 의한 평가는 단일변수에 의한 경우보다 신뢰성이 높아졌다. 또한 이 등(1998)은 전국 주요 연초경작지 101개 포장시험에서 무비구 수량에 의한 비옥도는 토양 양분 함량만으로 추정할 수 없었는데, 이는 밭 토양이 위치한 다양한 지형특성에 따른 환경요인이 크게 지배하기 때문이라 하였다. 그 결과 연초경작지의 비옥도는 질산태질소 함량과 토양도 자료의 퇴적양식, 경사도, 경토심, 토성 및 자갈함량의 6개 요인을 등급 점수화 하는 방법으로 양호한 평가결과를 도출하였다.

따라서 본 연구에서는 비옥도 평가의 효율성을 제고시키기 위하여 토양 화학성들과 함께 색 특성 및 토양도 조사자료 등 여러 가지 요인들을 평가에 포함하는 다중선형회귀분석으로 연초 경작지의 비옥도 평가방법들을 비교하였다.

재료 및 방법

시험포장은 1984년도에 충남 천원군 병천면 11개소, 충북 괴산군 칠성면 9개소, 경북 영천군 화북면 15개소 등 주요 황색종 경작지에서 비옥도 특성이 다양한 35개 포장을 선정하였다. 또한 동일한 시험포장의 토양에 연초를 재배하기 전 이른 봄에 채취하여 20L 포트에 넣고 포장시험과 동일하게 무비구 조건에서 포트시험을 병행하였다. 각 시험포장의 시험구는 25m² 크기로 하여 표준재배법에 준하여 이랑작업은 4월 초순부터 시작하고 공시품종 NC82의 담배 묘 정식은 4월 20일 전후에 실시하였다. 온실에서 수행된 포트시험은 4반복으로 포장시험과 동일한 공시품종을 4월 30일에 정식하고 시험기간동안 관수는 포트 받침대를 이

용하여 밀면에서 급수되도록 하였다.

토양 화학성은 농업기술연구소(현 농업과학기술원) 토양화학분석법(1988)에 준하여 분석하였고 NO₃-N 함량은 0.025M Al₂(SO₄)₃ 용액, NH₄-N 함량은 2M KCl 용액으로 침출하여 이온 전극법(Fox *et al.* 1978)으로 측정 하였다. 토양 중 잠재적으로 무기화 될 수 있는 유기태 질소의 평가방법인 고온가압(Auto-clave) 침출질소는 Stanford 등(1969)이 제안한 방법으로, Boiling CaCl₂ 용액 침출질소는 Keeney 등(1966)이 제안한 방법을 이용하였고, 2주간 항온배양 질산태 질소는 풍건토 50g을 100 ml 침출병에 취하고 토양별로 최대용수량의 60% 수분조건으로 유지시켜 30℃ 항온배양 후 생성된 질산태 질소를 이온전극법으로 측정하였다. NaHCO₃ 자외선 흡광도는 토양시료 2.5g와 0.01M NaHCO₃ 용액 50ml를 혼합 15분간 진탕 후 여액을 200nm에서 흡광도를 측정했다. 이 측정법은 Fox 등(1978)이 옥수수 재배토양의 질소공급능력을 평가함에 있어 효과적이라고 제안한 토양 검정방법이다.

토양의 색 특성은 색차계 (Colorimeter CR-300)를 이용하여 0.5mm 체를 통과한 토양시료에 대하여 측정하였다. 색차계는 색의 특성을 수치값으로 정량화 하여 L, a, b값으로 측정된다. L값(Torrent, 1993)은 명도를 나타내는 것으로 측정범위는 0에서 100까지이며, a값과 b 값은 각각 적색도와 황색도를 나타내고 측정범위는 각각 +60에서 -60까지 120등급으로 분류된다. 색차계의 측정원리는 Munsell color chart와 유사하며 오히려 광학기기에 의하여 색이 분석되므로 보다 객관성과 정밀성(Nandish, 1997; Wutscher, 1993)을 지니고 있다. 토양의 검은색은 부식함량 및 양이온치환용량 등의 이화학적 성질과 밀접하게 관련되기 때문에 토양색 특성을 비옥도 평가에 도입하였다.

공시토양의 물리성은 현실적으로 포장 현장에서 측정하기 곤란하므로 정밀토양도 자료로부터 표 1에 제시된 바와 같이 14개 토양속성들을 추출하여 정량적 특성과 정성적 특성으로 구분하여 비옥도 평가에 활용하였다.

담배 시료는 수확기에 채취하여 생체중 및 건

물중을 조사한 후, 분쇄하여 조제하였다. 식물체 분석은 70℃에서 건조 후 분쇄된 시료를 산 분해 용액(HClO₄ : H₂SO₄ = 10:1)으로 습식 분해하여 전질소는 Kjeldahl 법, 인산은 Vanadate 법, 그리고 K, Ca, Mg 은 원자흡광분광광도계로 측정하였다.

포트시험과 포장시험의 무비구 수량은 경작지의 생산력인 비옥도로 고려하여 15가지 토양 화학성, 3가지 색 특성 그리고 14 토양도 자료들을 포함하는 32개 독립변수들과 상호관계를 분석하였다. 이러한 32개 독립변수들은 수치자료인 24개 정량적 변수들과 비수치 자료인 8개 정성적 변수들로 구분하여 상관 및 회귀분석을 수행하였다. 24개 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀분석은 우선 회귀변수들간에 공선성(Collinearity)이 존재하는지를 검정하기 위하여 분산 팽창요인(Variance Inflation Factor)과 공선성 진단(Collinearity Diagnostics)을 수행하여 16개 변수들을 선발하였다. 공선성 존재여부에 의한 변수 선발기준은 SAS(SAS Institute, 1995)를 활용하여 분산 팽창요인이 10 이상, 행렬의 고유값(Eigenvalue)이 0.01이하, 그리고 조건지표(Condition Index)가 1000 이상의 값을 갖는 8개 변수들을 제외시켰다. 공선성 문제가 없는 16개 정량적 변수들은 무비구 수량에 대한 표준화된 편회귀계수 및 다중선형회귀분석을 수행하였다. 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀분석은 SAS, REG 모델의 Stepwise 변수선택 방법으로 유의 확률(p) 0.15 이하를 갖는 유효변수들을 선발하고 선발된 변수들의 가중치를 추정하여 비옥도 평가를 위한 모델식을 개발하였다. 또한 포장시험의 경우 정성적 변수들을 포함하는 다중선형회귀분석은 유효변수로 선발된 정량적 변수들과 함께 SAS, GLM 모델에서 표 1과 같이 분류된 정성적 변수들의 세부집단을 class로 지정하여 Solution ss3 분석방법으로 유의 확률값이 0.15 이하인 변수를 선발하였다. 포장시험의 경우 무비구 수량에 대한 다중선형회귀분석으로 선발된 정량적 변수들은 토양의 질산태질소 함량과 토양 색차계 L값 및 a값의 3개 변수들과 정성적 변수로서 지형이 유효변수로 선발되어 전체 4개 변수들에 의하여 평가되었다.

결과 및 고찰

충남 천원군, 충북 음성군 및 경북 칠곡군 지역의 황색중 경작지 35개 포장의 토양통은 지곡통, 수암통, 상주통, 삼각통, 중동통, 반호통, 연곡통, 장원통, 석토통, 귀산통, 용계통, 호계통, 및 안룡

통 등의 13개 이다. 정밀토양도 자료의 토양 물리성은 Table 1과 같으며 A층 깊이, A층의 자갈함량, 모래, 미사, 점토함량 등의 정량적 성질들을 제외한 배수등급 등 8개 정성적 성질들은 각각의 세부집단으로 분류하여 다중선형회귀분석의 평가에 적용하였다. 연초 재배토양에 대한 정성적 특

Table 1. Distribution of fields classified as specific group from soil survey data on detailed soil map

Drainage Class							
Excessively Well		Well	Moderately Well		Imperfectly	Poorly	
*2		27	6		~	~	
Available soil depth							
0-20cm		20-50cm	50-100cm		100-150cm	150cm <	
~		13	7		15	~	
Suitability Class for Upland							
1		2	3		4	5	
1		16	3		11	4	
Topography							
Mountain		Hills	Rolling		Foot Slope of Mountain	Valley	
~		~	5		17	3	
Topography							
Valley Fans		Alluvial Fans		Dilluvium	Plain	Riverbed	
9		~		~	1	~	
Parent material							
Alluvium		Dilluvium	Colluvium		Residium	Allu.-Colluvium	
1		~	13		5	16	
Soil texture							
C ~ SiC		SiCL ~ CL	SC ~ SCL		Si ~ SiL	L SL ~ LS S	
~		~	~		12	9 14 ~	
Acidity							
Neutral		V. Weak Acid		Weak Acid	Strong Acid	V. Strong Acid	
2		4		6	16	7	
Slope (%)							
0-2		2-7		7-15	15-30	30<	
1		17		12	5	~	
Depth of A-horizon(cm)			Gravel content of A-horizon(%)				
Min.		Max.	Average		Min.	Max.	Average
9		30	15.0		0	62.2	12.2
Sand (%)			Silt (%)				
Min.		Max.	Average		Min.	Max.	Average
16.4		79.4	49.2		12.6	66.5	37.8
Clay (%)							
Min.		Max.	Average				
3.2		36.1	13.1				

* Number of field classified by specific group

토양의 정량적 및 정성적 특성을 이용한 연초 경작지의 비옥도 평가

성의 세부집단별 분포특성에서 배수등급은 양호한 등급이 27개 포장으로 가장 많은 분포를 보였으며, 유효토심은 100-150cm가 15개, 20-50cm가 13개 포장, 밭 토양추천등급은 2등급이 16개, 4등급이 11개 포장, 지형은 산록경사지가 17개 포장, 모재는 충적봉적이 16개, 충적이 13개 포장으로 가장 많은 분포를 보였다. 토성은 사양토 및 양질사토가 14개 포장으로 가장 많았고 미사질토 및 미사질양토가 12개 포장이었으며 토양산도는 강산성이 16개 포장, 경사도는 2-7%가 17개, 7-15%가 12개 포장으로 나타났다.

는 유기태 질소의 평가로 활용되는 CaCl_2 침출질소는 28.7~146.0 mg kg^{-1} , Auto clave 침출질소는 26.8~119.0 mg kg^{-1} , 2주 항온배양후 생성된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 14.6~130.3 mg kg^{-1} , 0.01M NaHCO_3 침출용액의 200nm 자외선 흡광도는 0.19~0.95로 각각 40~50%의 변동계수를 보였다. 토양 질소공급 능력의 유효변수로 가장 많이 활용되는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 3.4~85.0 mg kg^{-1} , $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 24.7~127.0 mg kg^{-1} 으로 변동계수 비율이 각각 127% 및 43%의 다양한 함량분포를 나타냈다. 그리고 유효인산 함량은 68~978 mg kg^{-1} , 치환성 칼륨은

Table 2. Chemical properties and color characteristics of experimental soils

factor	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.	D.V.(%)
pH(1:5 H_2O)	4.4	6.5	5.3	0.6	10.9
T-N(g kg^{-1})	0.4	2.3	1.0	0.4	41.1
O.M.(g kg^{-1})	3.1	38.1	14.8	6.8	45.8
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	3.4	85.0	13.6	17.2	127.1
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})	24.7	127.0	58.5	25.1	42.8
CaCl_2 extract.-N(mg kg^{-1})	28.7	146.0	59.0	23.7	40.1
Auto. clave-N(mg kg^{-1})	26.8	119.0	58.1	20.8	35.8
Incubated $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	14.6	130.3	14.6	25.5	50.1
UV-Abs.at 200nm	0.19	0.95	0.48	0.21	42.7
Ava. P_2O_5 (mg kg^{-1})	68	978	560	262	46.8
Exch.-K($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	0.31	2.18	0.80	0.36	45.7
Exch.-Ca($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	0.9	9.2	3.2	41.8	55.5
Exch.-Mg($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	0.5	6.0	1.9	1.3	69.6
C.E.C.($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$)	5.1	25.5	11.4	4.2	46.0
E.C.(dS m^{-1})	0.13	1.72	0.32	0.27	84.0
Color-L value*	39.5	60.5	51.9	5.2	9.9
Color-a value**	1.5	7.7	4.6	1.6	35.1
Color-b value***	12.7	24.4	19.1	3.0	15.7

*Color L value : lightness, +100(white)~0(black)

**Color a value : Redness, +60(red)~-60(green)

***Color b value : Yellowness, +60(yellow)~-60(blue)

Table 2는 공시토양의 토양 화학성과 색특성에 대한 분포를 나타낸 것이다. 토양의 pH는 4.4~6.5, 유기물 함량은 3.1~38.1 g kg^{-1} , 전질소 함량은 0.4~2.3 g kg^{-1} , 잠재적으로 무기화 될 수 있

0.31~2.18 cmol kg^{-1} , 양이온치환용량 5.1~25.5 cmol kg^{-1} 으로 시험포장간에 다양한 화학성을 보여 다른 토양속성들과 함께 공시토양의 다양한 비옥도 특성을 나타냈다. 토양의 색 특성은 명도와

관련되는 L값이 39.5~60.5, 적색 강도를 나타내는 a값이 1.5~7.7, 황색 강도를 나타내는 b값이 12.7~24.4의 분포를 보였으며 a값은 35.1%로서 가장 큰 분포범위를 보였다.

Table 3. Yield of tobacco grown on the condition of no fertilization

Experiment	Min.	Max.	Mean	Std. Dev.	C.V. (%)
Pot(g plant ⁻¹)	20.6	53.8	35.0	8.7	24.9
Field (kg ha ⁻¹)	450	3,610	1,645	649	39.5

Table 3은 포트시험과 포장시험의 연초 수량분포를 나타낸 것이다. 무비구 연초의 수량은 공시 토양의 비옥도에 따라 큰 차이를 보여, 최소 수량과 최대 수량의 차이는 포트재배에서 2.6배의 차이를 보였고 포장재배는 8.0 배의 차이를 보였다. 인위적으로 재배환경이 조절된 포트재배보다 자연 환경 조건의 포장재배에서 연초의 생산력은 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 토양자체가 함유하고 있는 비옥도 보다는 토양요인 이외의 외부 환경요인들이 연초의 생산력에 크게 영향을 미치고 있다고 생각된다. 또한 이러한 이유는 토양 화학성 단일요인으로 토양의 비옥도를 구분 평가

Table 4. Correlation coefficients(r) between tobacco yield and physico-chemical properties in experimental soils

Experiment	Variable	Correlation coefficient(r)
Pot	Yield(field)	0.469**
	Ava. P ₂ O ₅	0.457**
	Color-a value	0.433**
	CaCl ₂ extract.-N	0.421*
	Auto. Clave-N	0.418*
Field	NO ₃ -N	0.523**
	Incubated NO ₃ -N	0.433**
	Electrical conductivity	0.424*
	Color-L value	-0.374*

*,**Significant differences at 0.05, 0.01 levels of probability, respectively

하려고 시도하였던 많은 연구에서 평가의 신뢰도가 제한적일 수밖에 없었던 원인으로 생각된다.

Table 4는 포트시험과 포장시험의 무비 조건에서 생산된 연초의 수량과 밀접한 상관을 갖는 화학성들을 나타낸 것이다. 동일한 토양에 대한 포트시험의 수량과 포장시험의 수량은 r=0.47로서 유의성 있는 상관을 보였으나 예상보다 상관계수가 크지 않았다. 포트재배는 생육환경이 인위적으로 조절되기 때문에 수량과 유의성 있는 상관을 갖는 화학성들도 포장시험의 경우와는 다르게 나타났다. 포트시험의 연초 수량과 유의성 있는 상관을 나타낸 화학성들은 유효인산 이외에 잠재적으로 무기화될 수 있는 유기태 질소의 평가방법인 CaCl₂ 및 Auto clave 침출성질소 그리고 색 특성의 a값 등이었다. 반면에 포장시험의 연초 수량은 질산태 질소 및 전기전도도와 색 특성인 L값과 유의성있는 상관을 보였다. 포장조건에서 비옥도와 밀접한 관계가 있는 것으로 선발된 질산태질소 및 전기전도도는 노지재배 토양(Bundy *et al.* 1993, Vanotti *et al.* 1994, Durieux *et al.* 1995; Fox *et al.* 1978, 1993; Hong *et al.* 1990)과 시설재배 토양(곽 등 1996, 송 등 1996, 홍 등 1998)에 대한 토양의 질소공급능력의 평가에서 선발된 유효변수들과 동일한 경향을 보였다. 이는 토양 화학성중에서 질소는 작물의 생산성에 가장 크게 영향을 미친다는 것을 보여 주는 것이다. 그리고 포트시험과 포장시험 모두에서 토양의 색 특성들이 연초 생산력과 유의성 있는 상관을 보인 것은 토양의 검은 색이 부식함량과 밀접한 관련성을 갖기 때문에 부식증가에 따른 양분공급능력의 증가와 관련된 것으로 생각된다. 연초수량과 토양 색의 L값과 유의성 있는 부의 상관을 보인 것은 토양의 부식함량이 많을수록 검은색을 나타내기 때문에 명도값은 낮아지기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 무비구의 연초 생산력을 절대적으로 평가할 수 있는 효율적인 단일지표의 선발은 용이하지 않은 것으로 나타났다.

표 5는 무비구 연초 수량에 기여하는 토양의 정량적 변수들에 대한 가중치를 평가비교하기 위하여 24개 정량적 변수들 중에서 공선성 검정에 문제가 있는 8개 변수들을 제외한 16개 정량적 변

Table 5. Standardized partial regression coefficients of physico-chemical properties of soils for tobacco yield

Properties	Yield	
	Pot experiment	Field experiment
pH	-0.204	0.566
O.M	0.061	-0.162
Ava. P ₂ O ₅	0.496	0.214
E.C.	-0.188	0.221
NO ₃ -N	0.257	0.231
NH ₄ -N	0.109	0.290
CaCl ₂ extract.-N	0.432	-0.092
UV-Abs.at 200nm	-0.401	0.025
Auto. clave-N	-0.010	0.278
Exch.-K	-0.054	-0.082
C.E.C.	0.152	0.155
Clay content	-0.223	-0.086
Color-L value	-0.501	-0.282
Color-a value	0.729	0.467
Depth of a-horizon	-0.115	-0.057
Gravel content in A-horizon	0.055	0.149

수들에 대한 표준화된 편회귀 계수를 나타낸 것이다. 표준화된 편회귀 계수의 분석은 SAS의 REG 모델의 STB 절차에 의하여 분석되었다. 포트시험이나 포장시험의 수량에 대한 독립변수들의 표준화된 편회귀계수는 1.0 내외로서 절대적인 기여도를 갖는 변수들은 확인되지 않았다. 이는 연초 수량과 유의성 있는 상관관계를 갖는 변수들이 비슷한 상관관계수($r=0.42\sim0.52$)로서 다양하게 선발되었던 경향과 유사하였다. 이는 시설재배 토양의 비옥도 평가에서 무기태 질소의 편회귀계수가 다른 화학성에 비하여 수 백배 이상이었던 결과(홍 등, 1998)와 뚜렷한 차이를 나타냈다. 또한 이러한 결과는 자연 포장조건에서 연초의 생산력을 평가할 수 있는 특정한 유효지표는 없으며 여러 가지 요인들이 상호작용에 의하여 복합적으로 관여하고 있다는 것을 시사한다. 그리고 노지 토양의 비옥

Table 6. Coefficients of determination(R^2) of multiple linear regression between tobacco yield and available indexes selected from soil physico-chemical properties

Experiment	Simple	Multiple Regression		
		Chemical	Quantitative	*Quant.+ Qualit.
Pot	0.209 (Ava. P ₂ O ₅)	0.278	**0.582	~
Field	0.274 (NO ₃ -N)	0.274	0.430	***0.663

*Quantitative and qualitative indexes

**A available indexes selected by MLR with quantitative variables for pot experiment ; ava. P₂O₅, CaCl₂ extractable N, clay content, L Value of soil color, and a value of soil color for field experiment ; NO₃-N, L value, and a value of soil color

***A available indexes selected by MLR with quantitative and qualitative variable for field experiment ; NO₃-N, L value of soil color, and topography

도 평가모델은 낮은 신뢰성 때문에 기후 및 지리적 조건에 따라 제한적으로 활용될 수밖에 없다 (Vanotti *et al.* 1994; Franzen *et al.* 1996) 는 보고와 일치되는 경향이였다.

무비구 연초 수량에 대한 정량적 변수들의 상관 및 표준화 편회귀계수 분석에서 토양의 비옥도를 효율적으로 평가할 수 있는 단일지표의 선발은 용이하지 않았다. 따라서 토양 화학성들을 포함한 색 특성 및 토양도 자료들을 정량적 및 정성적 변수들로 구분하여 다중선형회귀 분석을 하고 그 결정계수를 Table 6에 나타냈다. 공선성 검정에 의해 선발된 16개 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀 분석은 SAS의 REG stepwise 절차에 의하여 분석하였으며 P값이 0.15이하인 유의성 있는 변수들을 선발하였다. 포트시험과 포장시험의 연초 수량은 단일변수에 의한 단순회귀분석의 평가보다는 화학성들을 포함하는 다중선형회귀 분석에서, 그리

고 화학성 이외에 정량적 변수들을 평가에 추가했을 때 다중선형회귀분석의 결정계수(R^2)는 점진적으로 높아졌다. 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀분석의 대한 결정계수는 포장시험($R^2=0.430$)보다 포트시험($R^2=0.582$)에 대한 평가에서 더 컸다. 이는 연초 생장에 영향을 미치는 포장조건의 환경요인들이 포트재배 조건보다는 매우 다양하기 때문이라 생각된다. 따라서 포장시험의 생산력 평가는 정량적 변수들 이외에 보다 다양한 환경요인들이 포함될 수 있도록 정성적 변수들과 함께 다중선형회귀분석을 수행하였다. 정성적 변수들은 Table 1과 같이 세부집단으로 분류하여 각 집단들을 class로 지정하고 이미 선발된 정량적 변수들과 함께 SAS GLM 모델의 solution3 절차로 분석하였다. 그 결과 포장시험의 생산력에 대한 평가에서 유의성 있는 정량적 변수들과 함께 정성적 변수들 중에서 지형 특성이 포함된 다중회귀의 결정계수(r^2)는 0.663으로 크게 높아졌다. 정성적 변수로서 지형 특성이 평가에 포함된 것은 평탄지에서 산록경사지까지 다양한 지형형태가 연초 생산성에 크게 영향을 미치고 있다는 것을 반영하는 것이며 의미 있는 변수의 선발이라 생각된다. 이와 같이 정성적 변수들이 평가에 포함될 때 결정계수가 크게 증가된 것은 수치화 되지 못하여 평가에 포함시키지 못했던 범주형 자료들도 비육도에 민감하게 관여하고 있음을 반영하는 것이다. 이러한 결과는 이 등(1998)이 연초경작지의 비육도를 질산태 질소 함량과 5개 토양도 자료들의 등급점수화로 평가한 결과와 유사한 것이며 평가결과와 도출방법이 보다 객관적이라 생각된다. 또한 이러한 접근방법은 최근 정밀농업을 위한 필지별 특별관리 기술에서 토양 화학성 이외에 지형 및 토양속성들을 포함하여 평가하는 연구결과(Khakural *et al.* 1996a & 1996b, Girgin *et al.* 1996, Bruulsema *et al.* 1996, Wibawa *et al.* 1993)와 유사하였다. 따라서 토양의 비육도를 평가함에 있어 비육도에 관여하는 여러 가지 환경요인들을 평가에 포함시킬 수 있는 다중선형회귀 분석은 단일변수에 의한 평가보다 바람직 할 것으로 생각된다. 이상의 결과로 미루어 자연조건하의 경작지 비육도를 단순한 변수로 평가한다는 것은 특이한 국내의 기상조건과

Table 7. Regression equation by multiple linear regression for predicting tobacco yield of field experiment.

Variables	R^2	Equation
Quantitative	0.430	$Y=3085.364+2-.6654X_6*-46.3154X_{19}+148.7360X_{20}$
Quantitative and Qualitative	0.663	$Y=4518.40+25.366X_6-58.01X_{19}+105.353X_{20}+**Est. \text{coeff. of } X_{29}$

* $X_6=NO_3-N$, $X_{19}=Color-L$ value, $X_{20}=Color-a$ value
 **Estimating coefficient of X_{29} (topography);
 Foot slope of mountain=-8891.813, Mountain=-4432.356, Rolling=-803.904 Valley=-1484.485, Valley fans=-367.88, Plain=0
 NB;4 variables from 16 variables were selected for evaluation model by MLR with quantitative and qualitative variables.

여러 가지 환경조건을 감안할 때 신뢰도가 낮을 수밖에 없기 때문에 가능한 한 많은 외부 환경요인들을 평가에 포함시키는 것이 비육도 평가의 신뢰도를 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

Table 7은 포장시험의 생산력 평가에 대한 정량적 변수들의 다중회귀 모델식과 정성적 변수들까지 포함한 다중회귀 모델식을 나타낸 것이다. 정량적인 변수들에 의한 다중회귀 모델식은 단순히 유의성 있는 것으로 선발된 변수 값에 계수 평가치를 곱하는 방법이며 정성적 변수들의 반영 방법은 선발된 변수의 각 세부집단에 대한 계수 평가치를 곱하여 평가 모델식에 포함시키는 것이다. 정성적 변수들을 포함한 모델식은 복잡해 보이지만 컴퓨터에 프로그램으로 입력해 두면 실제 이용자는 유의성 있는 변수로 확인된 화학성만 분석하여 모델식으로 평가한다면 비육도 등급이나 비료 효과에 대한 결과 도출이 용이할 것이다. 포장시험의 연초수량에 대한 평가 모델식은 정량적 변수로서 질산태 질소 함량과 색 특성의 L값 및 a값을 포함하여 정성적 변수는 지형 속성이 선발되어 전체 4개의 유의성 있는 지표들로 평가되었다.

결 론

토양의 화학성과 색 특성 및 토양도 조사자료를 이용한 토양의 비옥도 평가방법이 35개 연초 경작지 토양에 대하여 포트시험과 포장시험으로 수행하였다. 충남 천원군 11개소, 충북 괴산군 9개소 및 경북 영천군 15개소의 전체 35개 시험포장은 지형 및 토양특성들에 의한 다양한 비옥도 특성이 분포되도록 선정하였다. 포트시험과 포장시험의 무비구 연초 수량은 비옥도로 고려되어 공시 토양의 15개 화학성들과 3개 색특성 및 14개 토양도 자료들을 포함한 32개 속성들과 상호관계를 조사하였다. 무비구 수량에 대한 다중선형회귀분석은 공선성 검정에 의하여 선발된 16개의 정량적 변수들과 8개의 정성적 변수들에 의하여 수행되었다. 무비구 연초의 수량은 최저와 최고간에 포트시험은 2.6배 그리고 포장시험은 8.0배의 차이를 보여 공시토양의 다양한 비옥도 특성을 나타냈다. 토양 화학성을 포함한 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀는 단일 변수에 의한 단순회귀보다 비옥도의 평가 신뢰도를 높였으며 그 정도는 포장시험보다 포트시험에서 컸다. 포장시험의 비옥도 평가는 정량적 변수들 이외에 정성적 변수들을 다중선형회귀분석에 포함시킬 때 평가 신뢰도는 점진적으로 높아졌다. 포장시험의 비옥도 평가를 위한 결정계수(R^2)는 단일변수 $\text{NO}_3\text{-N}$ 에 의한 것은 0.274, 정량적 변수들에 의한 다중선형회귀는 0.430, 정량적 및 정성적 변수들에 의한 다중선형회귀는 0.663이었으며 평가 모델식은 정량적 변수로서 질산태 질소 함량과 색차계의 L값 및 a값 그리고 정성적 변수는 지형이 유효변수들로 선발되었다.

참 고 문 헌

곽한강, 송요성, 연병열, 허범량. 1996. 시설재배작물의 질소시비량결정을 위한 토양질소의 공급능력 측정방법 비교. 한국토양비료학회지 29(3) : 282- 287

석영선, 홍순달, 안정호. 1999. 지리정보시스템을 활용한 연초재배 토양의 비옥도 평가. 한국

연초학회지 21(1) : 36-48

송요성, 곽한강, 허범량, 이상은. 1996. 시설재배토양에 축적된 질산태질소의 유효도. 한국토양비료학회지 29(4) : 347-352

이운환, 홍순달, 정훈채, 김용연. 1998. 황색종 연초경작지 비옥도 검정방법. 토양검정과 시비처방에 관한 심포지움. 제주대학교 아열대원 예산업 연구센터 : 61-74.

홍순달, 강보구, 김재정. 1998. 시설재배지 토양 검정에 의한 배추의 적정 시비량. 한국토양비료학회지 31(1) :16-24

홍순달. 1998. Pennsylvania주 옥수수 재배토양의 질소공급능력 평가. 한국토양비료학회지. 31(4) : 359-367

홍순달, 박효택. 1999. 토양도 자료를 활용한 연초 경작지의 비옥도 평가. 한국토양비료학회지. 32(2) : 95-108

Anonymous. 1980. Standard Practice for Specifying Color by the Munsell System. ASTM standard D 1535-96. Society for Testing and Materials, Philadelphia.

Bundy, L.G. and T.W. Andraski. 1993. Soil and plant nitrogen availability tests for corn following alfalfa. J. Production Agriculture 6(2) : 200-206.

Bruulsema, G.L. Malzer, P.C. Robert, J.G. Davis, and P.J. Copeland. 1996. Spatial relationships of soil nitrogen with corn yield response to applied nitrogen. Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA : 505-512

Cambardella C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, and A.E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 : 1501-1511

Durieux, R.P., H.J. Brown, E.J. Stewart, J.Q. Zhao, W.E. Jokela, and F.R. Magdoff. 1995. Implication of nitrogen management strategies for nitrate leaching potential: Role

- of nitrogen source and fertilizer recommendation system. *Agronomy J.* 87(5) : 884-887.
- Fox, R.H. and W.P. Piekielek. 1978a. Field testing of several nitrogen availability indexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 747-750.
- Fox, R.H. and W.P. Piekielek. 1978b. A rapid method for estimating the nitrogen supplying capability of a soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 751-753.
- Franzen D.W., L.J. Cihacek, and V.L. Hofman. 1996. Variability of soil nitrate and phosphate under different landscapes. *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA* : 521-529
- Gianello C. and J.M. Bremner. 1988. A rapid steam distillation method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 19(4) : 1551-1568.
- Girgin B.N. and B.E. Frazier. 1996. Landscape position and surface curvature effects on soils developed in the Palouse landscape. *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA* : 271
- Hong, S.D., R.H. Fox, and W.P. Piekielek. 1990. Field evaluation of several chemical indexes of soil nitrogen availability. *Plant and Soil* 123 : 83-88.
- Keeney, D.R. and J.M. Bremner. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agronomy J.* 58 : 498-503
- Khakural B.R., P.C. Robert, and D.J. Mulla. 1996a. Relating corn/soybean yield to variability in soil and landscape characteristics. *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA* : 117-128
- Khakural B.R., P.C. Robert, and A.M. Starfield. 1996b. Predicting corn yield across a soil landscape in west central Minnesota using a soil productivity model. *Precision Agriculture, Proceedings of the 3rd international conference, ASA/CSSA/SSSA* : 197-206
- Nandish, M. Mattikalli. 1997. Soil Color Modeling for the Visible and Near-Infrared Bands of Landsat Sensors Using Laboratory Spectral Measurements. *International Journal of Remote Sensing.* 59 : 14-28.
- SAS Institute. 1995. *SAS/STAT User's guide; Release 6.11 Edition.* SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA.
- Stanford, G. and W.H. Demar. 1969. Extraction of soil organic nitrogen by auto claving in water. *Soil Sci.* 107 : 203-205
- Torrent, J. and V. Barrón. 1993. Laboratory Measurement of Soil Color: Theory and Practice. *SSSA Special Publication no. 31* : 21-33.
- Vanotti, M.B. and L.G. Bundy. 1994. Corn nitrogen recommendations based on yield response data. *J. Production agriculture* 7(2) : 249-256.
- Wibawa, Winny D., Duduzile L. Dluclu, Larry J. Swenson, David G. Hopkins, and William C. Dahnke. 1993. Variable fertilizer application based on yield goal, soil fertility, and soil map unit. *J. Production Agriculture* 6(2) : 255-261.
- Wutscher, H. K. and T. Gregory Mccollum. 1993. Rapid, Objective Measurement of Soil Color with a tristimulus colorimeter. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24 : 2165-2169.